

Pasi Alanko

## **GEOTEKNISEN KANTAVUUDEN MÄÄRITTÄMINEN AVOIMISSA MAALAJEISSA**

# **GEOTEKNISEN KANTAVUUDEN MÄÄRITTÄMINEN AVOIMISSA MAALAJEISSA**

Pasi Alanko  
Opinnäytetyö  
Kevät 2018  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma, rakennustekniikka

---

Tekijä: Pasi Alanko

Opinnäytetyön nimi: Geoteknisen kantavuuden määrittäminen avoimissa maalajeissa.

Työn ohjaajat: Antti Ukonmaanaho ja Vesa Kallio

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018

Sivumäärä: 38 + 1 liitettä

---

Eurokoodin mukainen maaperän geoteknisen kantavuuden määrittäminen on haastava ja laaja kokonaisuus. Useinkaan sitä ei huomioida riittävästi ja painuma jätetään kokonaan mitoittamatta. Tämä johtaa siihen, että rakennuksille suunnitellaan liian suuria perustuksia sekä maaperän kantavuudet määritellään pieniksi.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia geoteknisen kantavuuden määrittämistä avoimissa maalajeissa ja selvittää toimivia laskentamalleja. Tarkoituksena oli kehittää Svapa Oy:lle toimiva Excel-pohjainen laskentaohjelma, jonka avulla voidaan määrittää maan geotekninen kantavuus sekä painuma annetun kuormituksen ja pohjatutkimusraportin perusteella.

Opinnäytetyössä perehdyttiin geoteknistä kantavuutta käsitteleviin standardeihin, määräyksiin sekä teoksiin. Työ toteutettiin suurimmalta osin RIL 157-1- ja RIL 207-2017 -julkaisun sekä SFS-EN 1997-1 -standardin ohjeita noudattaen. Lisäksi pohjatietoa pyrittiin hakemaan Suomen geoteknillisen yhdistyksen kautta, mutta aiheeseen löytyvää materiaalia oli tarjolla todella niukasti. Geoteknisen kantavuuden määrittämiseen julkaistiin eurokoodi vuonna 2007, jonka jälkeen on ollut suotavampaa käyttää eurokoodia rakentamismääräyskokoelman sijaan.

Opinnäytetyössä laadittiin yksityiskohtainen selvitys perusmuurianturan kantavuuden mitoituksesta eurokoodin mukaisesti sekä toimiva Excel-pohjainen laskentaohjelma kitkamaalajeille. Toteutettua laskentaohjelmaa voidaan käyttää apuna perustuksien suunnittelussa riittävän anturaleveyden määrittämiseksi. Tulevaisuudessa Excel-pohjaista laskentaohjelmaa on tarkoitus kehittää laskemaan liukumiskestävyys sekä kantokestävyys koheesiomaalajeilla.

---

Asiasanat: perusmuuri, antura, kantokyky, perustus, geotekninen, eurokoodi, painuma

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Civil Engineering, Structural Engineering

---

Author: Pasi Alanko

Title of thesis: Defining geotechnical carrying capacity of open soil

Supervisors: Mr. Antti Ukonmaanaho and Mr. Vesa Kallio

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018

Pages: 38 + 1 appendix

---

Defining the geotechnical loads of the soil as set by the Eurocode is a challenging and wide subject. Frequently it is not paid enough attention to, and the settlement is left entirely unmeasured. Because of this, people are designing too big foundations and carrying capacities of the soil are defined as small.

The subject of this thesis was to study the evaluation of geotechnical capacity in open soil, and its working calculation models. The objective was to get a working Excel-based calculation program for Svapa Ltd, that can determine the geotechnical capacity of the soil and the depression based on the given load and the results of the given soil investigation.

In the thesis we familiarized ourselves with the standards, regulations and other works of the given subject. The work was carried out for the most part following the directions in RIL 157-1 and RIL 201-2017 publications and the SFS-EN 1997-1 standards. Information on the subject was also tried to be found from the Finnish Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, but there was not much information related to the subject. An Eurocode was published for the geotechnical capacity in the year 2007, after which it has been more desirable to use the Eurocode instead of the code of building regulations.

In the thesis a detailed analysis of the dimensioning of the footing of the foundation wall was made following the Eurocode, and a working Excel-based calculation program for cohesionless soil was made. The calculation program that was made as a part of this thesis can be used as a base to determine the right size of the footing while designing foundations. In the future, the Excel-based computation program is meant to be developed to calculate the slip resistance and the carrying capacity for the cohesion soil.

---

Keywords: foundation wall, footing, carrying capacity, base, geotechnical, euro-code, settlement

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	6
2 GEOTEKNINEN SUUNNITTELU	7
2.1 Geotekninen luokka	7
2.2 Alustavat geotekniset tutkimukset	9
2.3 Suunnittelututkimukset	9
2.4 Pohjatutkimusraportti	9
2.5 Painokairaus	10
2.6 Painokairausdiagrammi	10
3 MURTORAJATILAMITOITUS	13
3.1 Mitoitustavat	13
3.2 Kuormat ja yhdistely kertoimet	13
3.3 Kantokestävyyden laskeminen DA2*-menetelmällä	16
3.4 Epäkeskeiset kuormitukset	23
3.5 Liukumiskestävyys	23
4 KÄYTTÖRAJATILAMITOITUS	25
4.1 Konsolidaatiopainuman laskeminen tangenttimoduulimenetelmällä	25
4.2 Jännityksen jakautuminen maaperässä	26
4.3 Maakerroksen suhteellinen kokoonpuristuvuus	28
5 LASEKENTAESIMERKKI EXCEL-OHJELMALLA	30
5.1 Kantavuuslaskelman lähtötiedot	30
5.2 Pohjaolosuhteet	30
5.3 Murtovyöhyke sekä painotetun kitkakulman määrittäminen	32
5.4 Kuormituksen epäkeskisyyss sekä anturan määräävät mitat	32
5.5 Kantokestävyyden määrittäminen	33
5.6 Painumataulukko	35
6 YHTEENVETO	37
LÄHTEET	38
LIITE 1. Perustamistapalausunto/ maaperätutkimusraportti	

# 1 JOHDANTO

Rakennusten maanvaraiset perustukset tulee suunnitella siten, että maaperä kestää rakenteista aiheutuvat kuormitukset. Anturan geoteknisen kantavuuden määrittämiseen ei löydy valmiita esimerkkilaskelmia ja sen kantavuuden mitoittamisen heikko tuntemus aiheuttaa usein kantavuuden ylimitoitusta.

Pientalojen geoteknisen kantavuuden mitoittamiseen ei ole saatavilla helppoa ohjelmaa, mikä aiheuttaa sen, että geotekninen kantavuus jätetään usein mitoittamatta tai se mitoitetaan rakentamismääräyskokoelman mukaisesti. Rakentamismääräyskokoelman sijasta Suomessa on kuitenkin voitu käyttää vuodesta 2007 asti eurokoodeja. Nykypäivänä useimmat toimijat vaativat eurokoodin mukaisen mitoittamisen rakentamismääräyskokoelman sijasta.

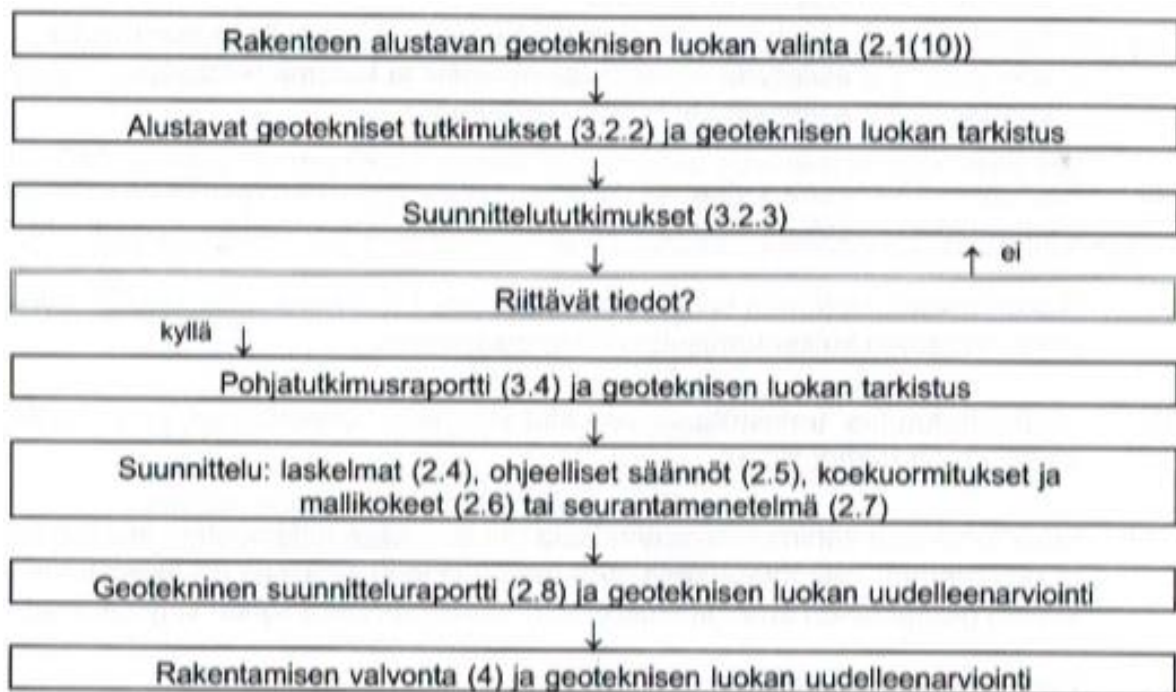
Geoteknisen kantavuuden mitoittaminen sisältää maaperän kantavuuden mitoittamisen sekä painumalaskelman annetuilla kuormituksilla. Perusmuurin ja anturan geoteknisen kantavuuden usein ajatellaan ulottuvan koko anturan leveydelle. Tämä kuitenkin vaatii vaakakuormien tapauskohtaista tarkistamista, sillä vaakakuormitus pienentää anturan tehollista leveyttä.

Tämän työn tavoitteena on tutkia omakotitalon perusmuurin sekä anturan geoteknisen kantavuuden mitoitus ja niille tulevien kuormien jakautumista maaperässä. Työn tavoitteena oli laatia myös toimiva Excel-pohjainen laskentaohjelma maan geoteknisen kantavuuden mitoittamiseen. Ohjelman tuloksena saadaan maan geotekninen kantavuuden ominaisarvo ja mitoitusarvo sekä painuma määritetyillä kuormituksilla.

## 2 GEOTEKNINEN SUUNNITTELU

Geoteknisen suunnittelun pohjana on rakennuspaikalle tehty pohjatutkimus, jonka tulisi sisältää riittävät lähtötiedot geoteknisen kantavuuden mitoitukselle. Pohjatutkimuksesta käyvät ilmi tiedot rakennuspaikan pohjavedestä, rakennuspaikan historia ja geologia, mittaustiedot, tiedot alueen seismisyydestä, kairaus-tiedot, radonin esiintyminen sekä tiedot maalajien routivuudesta. (1, s. 46 – 47.)

Geotekninen suunnittelu on projekti, jonka erilaiset mitoitusnäkökohdat voivat vaatia geoteknistä suunnittelua eri geoteknisessä luokassa. Koko projektia ei tarvitse kuitenkaan suunnitella sille määritetyssä korkeimmassa luokassa. Geotekninen suunnitteluprosessin kulku on esitetty kuvassa 1. (2, s. 32.)



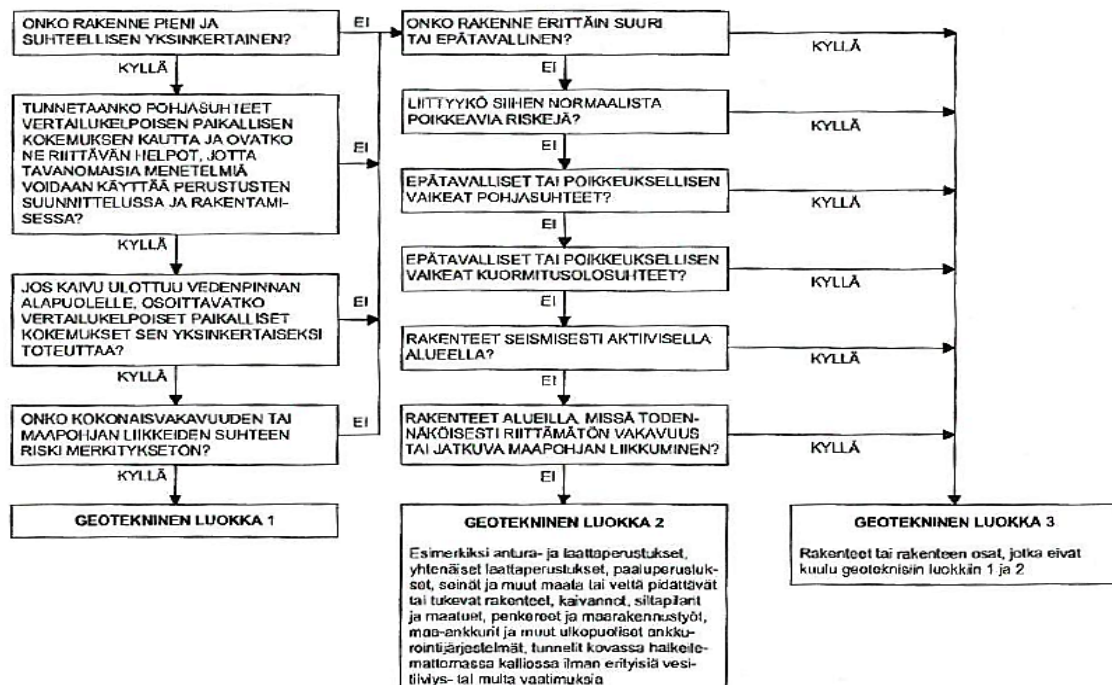
KUVA 1. Suunnitteluprosessi (2, s. 33)

### 2.1 Geotekninen luokka

Geoteknisten suunnitteluvaatimusten määrittämiseen voidaan käyttää kolmea geoteknistä luokkaa 1, 2 ja 3. Tavallisesti alustava rakenteen geoteknisen luokan valinta tehdään ennen geoteknisiä tutkimuksia. Geotekninen luokka tarkistetaan

ja tarvittaessa vaihdetaan jokaisessa suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa. Geotekniset luokat GL1, GL2 ja GL3 vastaavat RakMK:n antamia pohjarakenteiden suunnittelutehtävien vaativuusluokkia tavanomainen, vaativa sekä poikkeuksellisen vaativa. Geoteknisen luokan valintaan voi käyttää kuvassa 2 olevaa lohko-kaaviota (2. s. 32). Geoteknisen luokan valinnan helpottamiseksi on tehty myös lohko-kaavio helpottamaan geoteknisen luokan määrittystä. Geoteknisen luokituksen lohko-kaavio esitetty kuvassa 2.

Geoteknisen luokan 1 menetelmät ovat riittävät ainoastaan silloin, kun kaivanto ei ulotu vedenpinnan alapuolelle tai jos paikalliset vertailu kelpoiset kokemukset osoittavat, että ehdotettu vedenpinnan alapuolelle ulottuva kaivanto on yksinkertainen toteuttaa. Geotekniseen luokkaan 2 kuuluvat tavanomaiset rakenne- ja perustustyytit, joihin ei liity tavanomaisesta poikkeavia riskejä tai epätavallisia tai erikoisen vaikeita pohja- tai kuormitusolosuhteita. Geotekniseen luokkaan 3 kuuluvat kaikki rakenteet sekä rakenneosat, jotka eivät kuulu geoteknisiin luokkiin 1 ja 2. Näitä ovat suuret tai epätavalliset rakenteet sekä rakenteet, joihin liittyy normaalista poikkeavia riskejä. (2, s. 33 - 34.)



KUVA 2. Geoteknisen luokituksen lohko-kaavio (2, s. 34)



## **2.2 Alustavat geotekniset tutkimukset**

Alustavat geotekniset tutkimukset rakennuspaikalle tehdään paikan sopivuuden arvioimiseksi sekä vaihtoehtoisten sijoituspaikkojen vertailemiseksi, mikäli se tulee kysymykseen. On hyvä myös arvioida rakentamisesta aiheutuvia muutoksia maaperässä sekä selvittää maanottoalue, mikäli se tulee kysymykseen. Alustavissa geoteknisissä tutkimuksissa selvitetään myös maapohja. (1, s. 38.)

## **2.3 Suunnittelututkimukset**

Suunnittelututkimukset tehdään riittävän informaation saamiseksi rakennesuunnitteluun sekä mahdollisten rakentamisen aikana syntyvien ongelmien estämiseksi. Suunnittelututkimuksien tulee luotettavalla tavalla tunnistaa suunniteltavalle rakenteen vaikutusalueella esiintyvät maaperän ominaisuudet ja niiden sitoutuminen. (1, s. 39.)

Jotta suunnittelututkimukset saadaan kattamaan kaikki oleelliset maaperämuodostumat, on kiinnitettävä erityistä huomiota seuraaviin maaperää koskeviin geologisiin seikkoihin:

- geologiset kerrostumat
- luonnolliset tai kaivetut onkalot
- kallion, maan tai täytemateriaalin rapautuminen
- geohydrologiset vaikutukset
- siirrokset, halkeamat ja muut epäjatkuvuuskohdat
- viruvat maa- ja kalliomassat
- paisuvat ja luhistumisherkät maa- ja kivilajit
- jätteiden tai keinotekkoisten materiaalien esiintyminen. (1, s. 39.)

## **2.4 Pohjatutkimusraportti**

Kaikki geoteknisen tutkimuksen tulokset kootaan yhteen raporttiin, jota kutsutaan pohjatutkimusraportiksi. Pohjatutkimusraportti on osakokonaisuus geoteknisestä suunnitteluraportista. Pohjatutkimusraportti sisältää projektin alueen yleis- ja maaperänkuvauksen, tiedot pohjavedestä ja käytetyistä tutkimusmenetelmistä.

Pohjatutkimusraportti ottaa kantaa myös maalajien routivuuteen, radonin esiintymiseen sekä alueen kuivatukseen. (2, s. 46 – 47.)

## **2.5 Painokairaus**

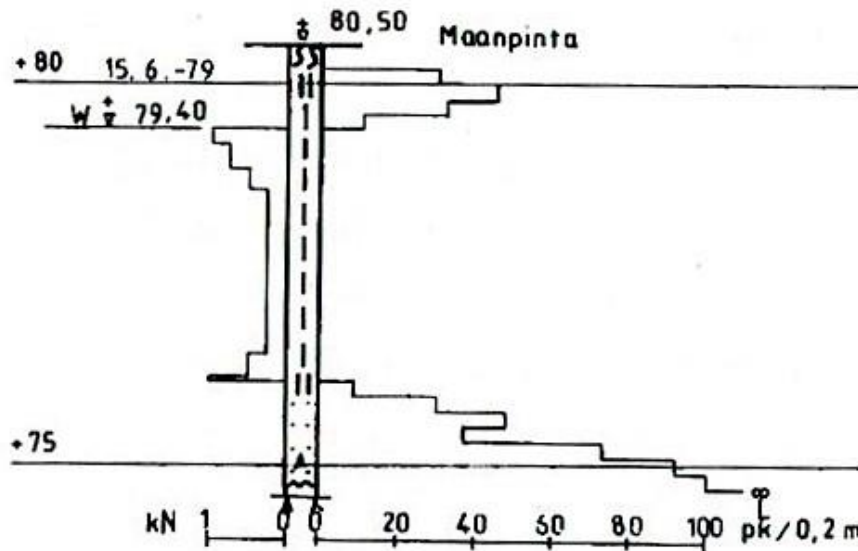
Painokairaus on ollut jo pitkään Suomessa eniten käytetty kairausmenetelmä. Painokairausta käytetään lähinnä pohjoismaissa, muualla sen käyttö on vähäisenpää. Painokairaus on hyvä yleiskaira, joka antaa perustietoa maaperästä pehmeistä maalajeista aina keskittiiviisiin moreeneihin saakka. Ennen painokairaus suoritettiin käsikairalla, nykyaikana on kuitenkin siirrytty tela-alustaisiin monitoimikairoihin. (3, s. 246 – 247.)

Painokairauksen perusajatus on, että mitataan jatkuvasti minimipainojen määrää, jolla kaira painuu maahan. Kun kaira ei painu täysillä painoillakaan, aletaan kiertämään kairaa. Painokairauksen kiertäminen mitataan puolikierroksina. Kairaa kierretään siihen saakka, että painuma on 20 cm ja kirjataan puolikierroksien määrä sekä kärjen syvyys. Jos painokaira alkaa kuitenkin painua kesken kiertämisen ilman kiertämistä, poistetaan kaikki painot ja aletaan lisäämään kuormitusta uudelleen, kunnes taas joudutaan kiertämään. Kun kaira ei enää painu kiertämällä, otetaan kaikki painot pois ja lyödään kairatankoa siihen valmistetulla nuijalla. Lyömällä kairaa ei saa upottaa ennen kuin tarvitaan yli 100 puolikierrosta 20 senttimetriä kohti. Kairaus päätetään siihen syvyyteen, jossa kaira ei painu lyömälläkään. (3, s. 247 – 248.)

## **2.6 Painokairausdiagrammi**




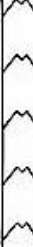

Kairausdiagrammin lukeminen on olennainen osa geoteknistä suunnittelua. Painokairausdiagrammista voidaan määritellä maalajin lujuus. Maalajit määritellään painokairauksen yhteydessä tehtävällä näytteenotolla. Kairausdiagrammi piirretään yleensä pystysuunnassa 1:100 mittakaavassa. Painokairausdiagrammi on esitetty kuvassa 3. Kairausdiagrammissa kuvaajan keskelle sijoitetaan 4 mm leveä kaistale, johon piirretään kullakin syvyydellä olevan maalajin piirustusmerkintä. (3, s. 249.)

Pylvään vasemmalle puolelle piirretään kuvaaja silloin, kun kaira on painunut pelkillä painoilla. Diagrammissa 1 cm vastaa 100 kilogramman kuormitusta. Esimerkiksi kun kaira painuu 25 kg painolla ilman kiertämistä, piirretään viiva kuvaajaan pylvään vasemmalle puolelle 0,25 cm pylväästä. (3, s. 249.)



KUVA 3. Painokairausdiagrammi (3, s. 249)

Tilanteet, joissa painuma ei tapahdu pelkillä painoilla vaan kairaa joudutaan kiertämään, piirretään viiva pylvään oikealle puolelle. Diagrammin oikealle puolelle piirrettäessä 1 cm vastaa 20 puolikierrosta (pk) 20 cm:n uppoumaan. Kuvaaja jätetään päistään auki ja vaakaviivat ulotetaan kyseisestä kohdasta hieman yli 5 cm:n etäisyydelle pylvään reunasta. Samalla tavoin toimitaan myös silloin, kun kaira on upotettu lyömällä, mutta avoimeen päähän merkitään L-kirjain lyönnin merkiksi. Kairausdiagrammeissa käytetyt maalajimerkinnät on esitetty kuvassa 4. (3, s. 249.)

Maalajiryhmä Soil group	Maalajit Soil types	Värit Colours	
	Eloperäiset maalajit (E) Organic soils		
	Humusmaa Organic soil	Hm	
	Turve Peat	222 Tv	harmaa grey RGB 192 192 192
	Lieju Mud, ooze	222 Lj	tumman harmaa dark grey RGB 146 146 174
	Hienorakeiset maalajit (H) Finegrained soils		
	Savi Clay	— Sa	sininen blue RGB 146 210 254
	Siltti Silt	Si	violetti violet RGB 211 125 5
	Karkearakeiset maalajit (K) Coarse grained soils		
	Hiekka Sand	... Hk	keltainen yellow RGB 240 234 82
	Sora Gravel	oo Sr	vihreä green RGB 113 219 113
	Moreeni maalajit (M) Moraines		
	Silttimoreeni Silty till	^ SiMr	ruskea brown RGB 218 173 48
	Hiekkamoreeni Sandy till	^ HkMr	
Soramoreeni Gravelly till	^ oo SrMr		
	Kiviä Cobbles	▲ Ki	
	Lohkareita Boulders	● Lo	
	Kivi tai lohkare Stone or boulder	X läpiporattu*) hole drilled through*)	
*) merkin korkeus osoittaa lohkareen koon *) the size of the symbol corresponds to the size of the boulder			

KUVA 4. Maalajimerkinnät (4, s. 5)

### 3 MURTORAJATILAMITOITUS

#### 3.1 Mitoitustavat

Eurokoodissa SFS-EN 1997-1 esitetään kolme erilaista mitoitusastetta eri rakenteille: DA1, DA2 ja DA3. Näistä mitoitusastetoista jokainen maa on valinnut oman mitoitusastensa eri rakenteille ja ne on esitetty maiden kansallisissa liitteissä. Suomi on valinnut käytettäväksi antura-, laatta- ja paaluperustuksien sekä ankuri- ja tukirakenteiden mitoitusastetta DA2. Mitoitusastetta DA3 käytetään luiskien-, penkereiden-, ja kokonaisvakavuuden mitoituksessa. Suomalaisen kansallisen liitteen mukaan mitoitusastetta DA1 ei käytetä Suomessa. (2, s. 55.)

Mitoitusastetta DA2 käytettäessä voidaan menetellä kahdella eri tavalla, joista käytetään merkintöjä DA2 ja DA2\*. DA2-mitoitusastetta käytettäessä osavarmuusluvut kohdistuvat kuormien ominaisarvoihin laskelman alussa ja koko laskelma tehdään mitoitusarvoilla. Mitoitusastetta DA2\* käytettäessä tulee kiinnittää erityistä huomiota perustuksen vakavuuden varmistamiseen. DA2\*-mitoitusastetta käytettäessä koko laskelma tehdään ominaisarvoilla ja osavarmuusluvut käytetään vasta laskelman lopussa, murtorajatilaehto tarkistettaessa. Mitoitusastetta DA2\* käytettäessä kaikki pysyvät kuormat otaksutaan epäedullisiksi. (5, s. 3.)

#### 3.2 Kuormat ja yhdistely kertoimet

Mitoitusastetta DA2 käytettäessä eurokoodi antaa sille kuormitusyhdistelmän, joka on esitetty kaavassa 1. Kantavuutta mitoittaessa tulee osoittaa, että murtorajatilaa tai liiallista muodonmuutosta ei pääse esiintymään kaavan 1 kuormitusyhdistelmällä. (1, s. 32.)

$A1 "+" M1 "+" R2$

KAAVA 1

$A1$  = Osavarmuusluvut kuormille ja kuormien vaikutuksille

$M1$  = Osavarmuusluvut maaparametreille

$R2$  = Osavarmuusluvut kestävyydelle

Kuormien osavarmuusluvut on esitetty taulukossa 1, kun taas kuormitusyhdistelyssä tarvittavat maaparametrien osavarmuusluvut on esitetty taulukossa 2. Taulukossa 3 on esitetty osavarmuusluvut kestävyydelle, kun mitoitetaan laatta- ja anturaperustuksia.

**TAULUKKO 1. Kuormien ja kuorman vaikutuksen osavarmuusluvut (STR/GEO)**  
(2, s. 51)

Kuorma	Merkintä	Sarja	
		A1	A2
<b>Pysyvä:</b>			
Epäedullinen (Yht.6.10a) (Yht.6.10b) (Yht.6.10)	$\gamma_{Gkj,sup}$	1,35 $K_{FI}$ 1,15 $K_{FI}$	1,0 $K_{FI}$
Edullinen (Yht.6.10a) (Yht.6.10b) (Yht.6.10)	$\gamma_{Gkj,inf}$	0,9 0,9	1,0
<b>Muuttuva:</b>			
Epäedullinen (Yht.6.10b) (Yht.6.10)	$\gamma_Q$	1,5 $K_{FI}$	1,3 $K_{FI}$
Edullinen		0	0

Kuormien osavarmuusluku kerrotaan aina  $K_{FI}$  kertoimella, joka määräytyy luotettavuusluokan perusteella (taulukko 2). Luotettavuusluokkaa määritettäessä pitää selvittää suunniteltavan rakenteen seuraamusluokka, sillä rakenteen seuraamusluokka selvittää luotettavuusluokkaa. Luotettavuusluokassa RC3  $K_{FI}$  kerroin on 1,1, kun taas luotettavuusluokassa RC2  $K_{FI}$  on 1,0. Heikoimmassa luotettavuusluokassa eli RC1, joissa on vähäinen riski menettää ihmishenkiä, käytetään  $K_{FI}$ -kertoimena 0,9. (2, s. 44 – 45.)

**TAULUKKO 2. Kuormien ja kuorman vaikutuksen osavarmuusluvut (STR/GEO)**  
(2, s. 51)

Maaparametri	Merkintä	Sarja	
		M1	M2
Leikkauskestävyyskulma <sup>a</sup> ("Kitkakulma")	$\gamma_\phi$	1,0	1,25
Tehokas koheesio	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Suljettu leikkauslujuus	$\gamma_{cu}$	1,0	1,5
Yksiakseliaalinen puristuskoe	$\gamma_{qu}$	1,0	1,5
Tilavuuspaino	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

TAULUKKO 3. Kestävyyden osavarmuusluvut (STR/GEO) (2, s. 54)

Kestävyys	Merkintä	Sarja R2
Kantokestävyys	$\gamma_{R,v}$	1,55
Liukumiskestävyys	$\gamma_{R,h}$	1,1

Käytettäessä mitoitustapaa DA2 ja DA2\* kuormien yhdistelmänä käytetään epäedullisempaa kaavaa, kaavoista 6.10a ja 6.10b. Kaava 6.10a on esitetty kaavassa 2 kun taas 6.10b on esitetty kaavassa 3. (5, s. 6.)

$$1,35 K_{FI} G_{kj,sup} + 0,9 G_{kj,inf} \quad \text{KAAVA 2}$$

$$1,15 K_{FI} G_{kj,sup} + 0,9 G_{kj,inf} + 1,5 K_{FI} Q_{k,1} + 1,5 K_{FI} \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad \text{KAAVA 3}$$

$K_{FI}$  = luotettavuusluokkakerroin

$G_{kj,sup}$  = pysyvän kuorman j ominaisarvon yläraja

$G_{kj,inf}$  = pysyvän kuorman j ominaisarvon alaraja

$Q_{k,1}$  = määräävän muuttuvan kuorman 1 ominaisarvo

$\psi_{0,i}$  = muuttuvien kuormien yhdistelykerroin

$G_{k,i}$  = muun samanaikaisen muuttuvan kuorman 1 ominaisarvo

Kaavassa 3 käytettävä muuttuvan kuormituksen yhdistelykerroin saadaan SFS-EN 1990 taulukosta A1.1 (6, s.86). Muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet esitetty taulukossa 4.

#### TAULUKKO 4. Muuttuvien kuormien yhdistelykerroin (6, s. 86)

Kuorma	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (ks. EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,6
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino $\leq 30$ kN	0,7	0,7	0,6
Luokka G: liikennöitävät tilat, 30 kN < ajoneuvon paino $\leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Rakennusten lumikuormat (ks. EN 1991-1-3) <sup>*)</sup>			
Suomi, Islanti, Norja, Ruotsi	0,70	0,50	0,20
Muut CENin jäsenmaat, kun sijaintikorkeus on $H > 1000$ m merenpinnan yläpuolella.	0,70	0,50	0,20
Muut CENin jäsenmaat, kun sijaintikorkeus on $H \leq 1000$ m merenpinnan yläpuolella.	0,50	0,20	0
Rakennusten tuulikuormat (ks. EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (ks. EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
HUOM. Kertoimien $\psi$ arvot voidaan määritellä kansallisessa liitteessä. <sup>*)</sup> Mikäli maata ei ole mainittu, kyseiset paikalliset olosuhteet selvitetään erikseen.			

Mitoitustapaa 2 käytettäessä tutkittavia kuormitusyhdistelmiä murtorajatilassa on kahdeksan. Kuormitusyhdistelmät ovat

- $V_{max}, H_{max}$  (6.10a)
- $V_{max}, H_{min}$  (6.10a)
- $V_{min}, H_{max}$  (6.10a)
- $V_{min}, H_{min}$  (6.10a)
- $V_{max}, H_{max}$  (6.10b)
- $V_{max}, H_{min}$  (6.10b)
- $V_{min}, H_{max}$  (6.10b)
- $V_{min}, H_{min}$  (6.10b)

$V$  = pystykuorma

$H$  = vaakakuorma

### 3.3 Kantokestävyys laskeminen DA2\*-menetelmällä

Kantokestävyys lasketaan eurokoodin SFS-EN 1997-1 mukaisesti. Kantokestävyysmitoitusehtona pidetään, ettei anturalle tuleva epäedullinen kuorma ylitä



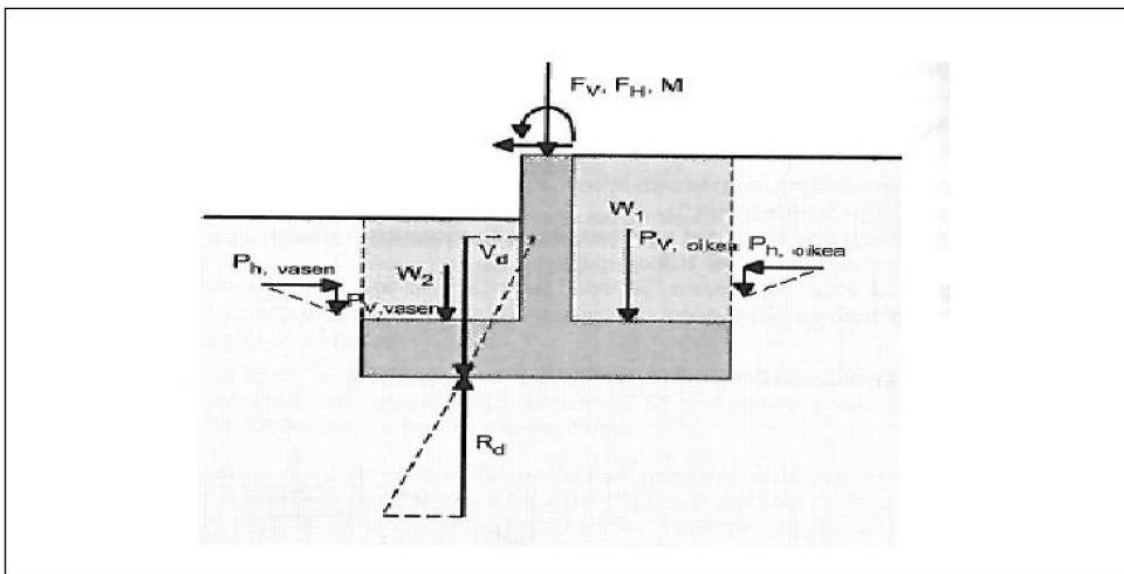
maapohjan kantokestävyyttä. Kaavassa 4 esitetyn epäyhtälön tulee toteutua kaikissa murtorajatiloiissa. Anturaan kohdistuvat kuormitukset on esitetty kuvassa 5. Perustuksen painon, taustatäyttö materiaalin painon sekä maanpaineen tulee sisältyä pystykuormitukseen  $V_d$ . (1, s. 61.)

$$V_d \leq R_d$$

KAAVA 4

$R_d$  = kantokestävyyden mitoitusarvo

$V_d$  = pystysuoran kuorman mitoitusarvo, tai sen kokonaiskuorman komponentin mitoitusarvo, joka vaikuttaa kohtisuoraan perustuksen pohjaa vastaan. (1, s. 61.)



KUVA 5. Anturaan kohdistuvat kuormitukset (2, s. 104)

Kantokestävyyden mitoitusarvo saadaan laskettua kaavalla 5. Kantokestävyyden mitoitusarvon laskemisessa tarvittava osavarmuusluku on esitetty taulukossa 3 (sivulla 16).

$$R_d = \frac{R_k/A'}{\gamma_{R,v}}$$

KAAVA 5

$R_k/A'$  = kantokestävyyden ominaisarvo jaettuna perustuksen tehokkaalla pinta-alalla

$\gamma_{R,v}$  = kantokestävyyden osavarmuusluku

Kantokestävyyden ominaisarvo  $R_k$  avoimessa tilassa lasketaan kaavalla 6 (2, s.106).

$$\frac{R_k}{A'} = c' * N_c * b_c * s_c * i_c + q' * N_q * b_q * s_q * i_q$$

$$+ 0,5 * \gamma' * B' * N_\gamma * b_\gamma * s_\gamma * i_\gamma$$

KAAVA 6

$R_k$  = kantokestävyyden ominaisarvo

$A'$  = anturan tehokas pinta-ala

$c'$  = koheesiokerroin

$N_c$  = kantokestävyyskerroin

$b_c$  = perustuksen pohjan kaltevuudesta riippuva kerroin

$s_c$  = perustuksen muodosta riippuva kerroin

$i_c$  = vaakakuormituksesta riippuva kerroin

$q'$  = perustustason yläpuolisesta täytöstä riippuva kerroin

$N_q$  = kantokestävyyskerroin

$b_q$  = perustuksen pohjan kaltevuudesta riippuva kerroin

$s_q$  = perustuksen muodosta riippuva kerroin

$i_q$  = vaakakuormituksesta riippuva kerroin

$\gamma'$  = perustamistason alapuolisen maan tehokas tilavuuspaino

$B'$  = anturan tehokas leveys

$N_\gamma$  = kantokestävyyskerroin

$b_\gamma$  = perustuksen pohjan kaltevuudesta riippuva kerroin

$s_\gamma$  = perustuksen muodosta riippuva kerroin

$i_\gamma$  = vaakakuormituksesta riippuva kerroin

Laskettaessa kantokestävyyttä kitkamaassa koheesion ollessa nolla kantokestävyyskaavan ensimmäinen lauseke saa arvon nolla, jolloin voidaan käyttää kaavaa 7.

$$\frac{R_k}{A'} = q' * N_q * b_q * s_q * i_q + 0,5 * \gamma' * B' * N_\gamma * b_\gamma * s_\gamma * i_\gamma$$

KAAVA 7

Edellä esitettyjä kaavoja ei voida käyttää koheesiomaalajeille. Koheesiomaalajeille on annettu oma kaavansa kantokestävyyden mitoittamiseen. Maalajin sisäl- täessä koheesiota tulee se laskea koheesiomaalajeille tarkoitetulla kantokestä- vyydekaavalla. Koheesio- ja kitkamaalajeille tarkoitettuja kaavoja ei voida käyttää ristiin vaan ennen mitoittamista on selvitettävä, kumpi maalaji on merkitsevämpi.

Kantokestävyyškertoimet lasketaan kaavoilla 8-10.

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}) \quad \text{KAAVA 8}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi' \quad \text{KAAVA 9}$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \varphi' \quad \text{KAAVA 10}$$

$\varphi'$  = kitkakulma

Kun lasketaan anturan kantokestävyyden mitoitusarvoa kerroksellisissa maala- jeissa, jossa maalajien ominaisuudet vaihtelevat kerrosten välillä suuresti, tulee maalajien mitoitusparametrit määrittää kullekin maalajille. Jos pehmeän muodos- tuman alapuolella on kova maalajimuodostuma, voidaan kantokestävyys mitoit- taa käyttämällä pehmeän maalajin leikkauslujuusparametreja, kun taas päin vas- taisissa tilanteissa voidaan käyttää heikomman maalajin parametreja. (2, s. 107.)

Kitkakulmaa määritettäessä pitää ottaa huomioon kerroksellisissa maalajeissa painotettu kitkakulma. Ohessa on esimerkki kitkakulman määrittämisestä, kun murtovyöhyke sijaitsee toisen maalajin alapinnassa (kaava 11). Painotetun kitka- kulman laskemisen periaate kuva esitetty kuvassa 6. Murtovyöhykkeen määrittä- minen esitetty kuvassa 7. Murtovyöhykkeen vaikutus syvyys määritetään kaa- valla 12. (2, s. 107.)

$$\varphi' = \frac{h_1 * \varphi'_1 + h_2 * \varphi'_2}{1,5 * B}$$

KAAVA 11

$\varphi'$  = kitkakulma

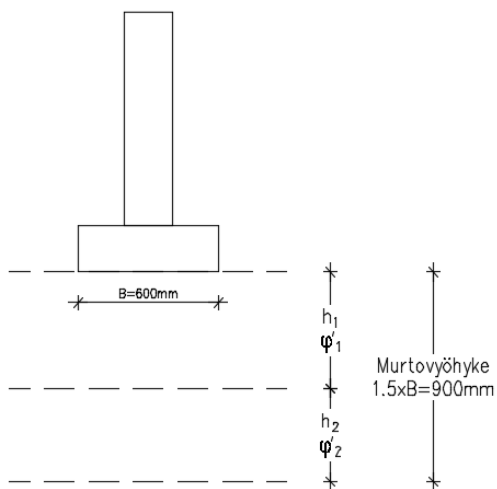
$h_1$  = anturan alapuolella olevan 1. maalajin korkeus

$\varphi'_1$  = anturan alapuolella olevan 1. maalajin kitkakulma

$h_2$  = anturan alapuolella olevan 2. maalajin korkeus

$\varphi'_2$  = anturan alapuolella olevan 2. maalajin kitkakulma

$B$  = anturan leveys

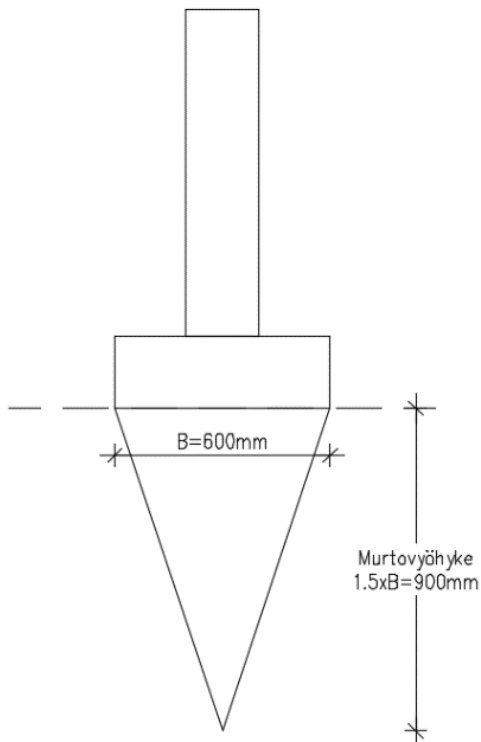


KUVA 6. Painotetun kitkakulman määrittäminen

$$1,5 * B$$

KAAVA 12

$B$  = anturan leveys



KUVA 7. Murtovyöhykkeen määrittäminen

Perustuksen pohjan kaltevuudesta riippuvat kertoimet lasketaan kaavoilla 13-14.

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha * \tan \varphi')^2 \quad \text{KAAVA 13}$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan \varphi') \quad \text{KAAVA 14}$$

$\alpha$  = perustuksen kaltevuuden kulma

$\varphi'$  = kitkakulma

Perustuksen muodosta riippuvat kertoimet lasketaan kaavoilla 15-17.

$$s_q = 1 + \left( \frac{B'}{L'} \right) \sin \varphi' \quad \text{KAAVA 15}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \left( \frac{B'}{L'} \right) \quad \text{KAAVA 16}$$

$$s_c = (s_q * N_q - 1) / (N_q - 1) \quad \text{KAAVA 17}$$

$B'$  = anturan tehokas leveys

$L'$  = anturan tehokas pituus

$\varphi'$  = kitkakulma

$N_q$  = kantokestävyyskerroin

Vaakakuormasta  $H$  riippuvat kertoimet lasketaan kaavoilla 18-20.

$$i_q = \left[ \frac{1-H}{V+A'c' \cot \varphi'} \right]^m \quad \text{KAAVA 18}$$

$$i_\gamma = \left[ \frac{1-H}{V+A'c' \cot \varphi'} \right]^{m+1} \quad \text{KAAVA 19}$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c * \tan \varphi') \quad \text{KAAVA 20}$$

missä eksponentti  $m$   $L$ :n ja  $B$ :n suuntaan lasketaan kaavoilla 21-22.

$$m = m_B = [2 + (B'/L')] / [1 + (B'/L')], \text{ kun } H \text{ vaikuttaa } B':\text{n suunnassa.} \quad \text{KAAVA 21}$$

$$m = m_L = [2 + (L'/B')] / [1 + (L'/B')], \text{ kun } H \text{ vaikuttaa } L':\text{n suunnassa.} \quad \text{KAAVA 22}$$

$H$  = vaakakuorman ominaisarvo

$V$  = pystykuorman ominaisarvo

$A'$  = anturan tehokas pinta-ala

$\varphi'$  = kitkakulma

Niissä tapauksissa, joissa vaakakuormitus ei kohdistu kohtisuoraan anturaan vaan muodostaa kulman  $\theta$  anturan tehokkaan pituuden  $L'$  suunnan kanssa, voidaan  $m$  laskea kaavalla 23 (2, s. 107).

$$m = m_\theta = m_L \cos^2 \theta + m_B \sin^2 \theta \quad \text{KAAVA 23}$$

Perustamistason yläpuolisen maan täyttämisestä tuleva kerroin  $q'$  lasketaan kaavalla 24. Tätä laskettaessa otetaan huomioon täyttömaan tilavuuspaino.

$$q' = \gamma * D \quad \text{KAAVA 24}$$

$q'$  = perustustason yläpuolisesta täytöstä riippuva kerroin

$\gamma$  = perustamistason yläpuolisen maan tilavuuspaino

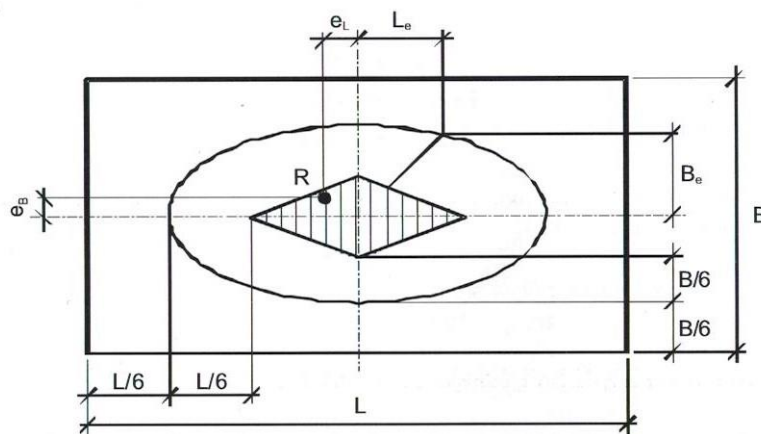
$D$  = pienin perustamissyvyys

### 3.4 Epäkeskeiset kuormitukset

Epäkeskeiset kuormitukset pitää ottaa huomioon mitoituksissa. Kuormituksen epäkeskeisyyden ollessa suurempi kuin  $1/3$  perustuksen leveydestä tai  $0,6$  kertaa pyöreän perustuksen säde, pitää ryhtyä erityisiin varotoimenpiteisiin. Näitä varotoimenpiteitä ovat kuormituksen huolellinen tarkistaminen sekä perustuksien mittojen tarkastaminen. Mitoitustapaa DA2\* käytettäessä ei sallita yli  $1/3$  ylittäviä epäkeskisyyksiä, sillä osavarmuusluvut sovelletaan vasta laskennan loppuvaiheessa. Kuvassa 8 on esitetty sallitut epäkeskisyydet. Vinonneliön kulmapisteet ovat  $1/3$  leveyden päässä anturan ulkoreunoista, kun taas ellipsi määräytyy kaavasta 25. (2, s.110.)

$$(L_e/L)^2 + (B_e/B)^2 = 1/9$$

KAAVA 25



KUVA 8. Anturaan kohdistuvat kuormitukset (2, s. 110)

### 3.5 Liukumiskestävyys

Anturan pohjaa pitkin tapahtuvan liukumisen todennäköisyys kasvaa, ellei kuormitus ole kohtisuorassa anturan pohjaa vasten. Liukumiskestävyys tarkistetaan kaavalla 26.

$$H_d \leq R_d + R_{p;d}$$

KAAVA 26

$H_d$  = pystysuoran kuorman mitoitusarvo, tai sen kokonaiskuorman komponentin mitoitusarvo, joka vaikuttaa kohtisuoraan perustuksen pohjaa vastaan

$R_d$  = kantokestävyyden mitoitusarvo

$R_{p;d}$  = maanpaineesta aiheutuva voima anturan sivuun

Anturan ympärillä tapahtuva maankaivu saattaa poistaa  $R_{p;d}$ :n vaikutuksen. Suomessa kuitenkin  $R_{p;d}$  jätetään usein huomioimatta liukumiskestävyyden tarkastelussa, koska edullisten kuormien vaikutus voi ajan mittaan hävitä. (2, s. 108.)



## 4 KÄYTTÖRAJATILAMITOITUS

Painumamitoitus tehdään aina käyttörajatilassa. Painumalajeja on neljä erilaista, ja ne sisältyvät kokonaispainumaan. Kokonaispainuma lasketaan kaavalla 27. Painumalajeista sivusiirtymien aiheuttama painuma sekä jälkipainuma ovat kuitenkin vähämerkityksellisimpiä kuin painuman muut osatekijät. Sivusiirtymien aiheuttama painuma vaatii plastisen muodonmuutoksen syntymisen ja tilanteen, jossa maan jännitystila lähenee murtotilaa ja varmuus leikkausmustumista vastaan on pieni. (7, s. 207.)

Jälkipainuminen alkaa vasta konsolidaatiopainuman loppuvaiheessa jopa vuosikymmenien jälkeen rakentamisesta. Humuspitoisessa maalajissa jälkipainuma voi olla merkityksellinen. Yleensä jälkipainuman suuruus geoteknisessä mitoituksessa jää kuitenkin pieneksi. Käytännössä kuitenkin painumaa laskennassa tyydytään laskemaan vain konsolidaatiopainuma, joka sisältää valtaosan painumasta. (7, s. 207.)

$$S = S_i + S_k + S_T + S_s$$

KAAVA 27

$s$  = kokonaispainuma

$S_i$  = alkupainuma

$S_k$  = konsolidaatiopainuma

$S_T$  = sivusiirtymien aiheuttama painuma

$S_s$  = jälkipainuma (7, s. 207.)

### 4.1 Konsolidaatiopainuman laskeminen tangenttimoduulimenetelmällä

Konsolidaatiopainuma voidaan määrittää 1-ulotteisella tangenttimoduulimenetelmällä, vaikka painuminen tapahtuu aina 3-ulotteisessa muodonmuutostilassa. Tangenttimoduulimenetelmän käyttäminen on kuitenkin perusteltua laskelmien yksinkertaistamiseksi. Tämän menetelmän käyttäminen soveltuu parhaiten tapauksiin, joissa maakerroksen paksuus on ohut verrattuna anturan tehokkaaseen leveyteen. Painumien laskemista varten anturan alapuolinen maa on jaettava

geoteknisesti tasalaatuisiin maakerroksiin, joissa moduuliluvun  $m$  voidaan olettaa pysyvän vakiona. Jako voidaan suorittaa taulukon 5 mukaisesti rakeisuuden ja kairausvastuksen perusteella. (8, s. 24.)

TAULUKKO 5. Karkearakeisten maalajien arviointi rakeisuuden ja kairausvastusten perusteella (8, s. 9)

Maalaji			Tilavuuspaino (kN/m <sup>3</sup> ) pohjavedenpinnan		Kitka- kulma $\phi$ (ast.)	Moduuli-		Kairausvastukset 1)	
			yläpuol.	alapuol.		luku $m$	eksp. $\delta$	painok. pk/0,2 m	heijarik. L/0,2 m
Hienohiekka $d_{10} \leq 0,06$	hHk	L	15...17	9...	30	50... 150	0.5	20... 50	5... 15
		K			33	100... 200	0.5	50...100	15... 30
		T	16...18	11	36	150... 300	0.5	100...	30...
Hiekka $d_{10} > 0,06$	Hk	L	16...18	10...	32	150... 300	0.5	10... 30	5... 12
		K			35	200... 400	0.5	30... 60	12... 25
		T	17...19	12	38	300... 600	0.5	60...	25...
Sora	Sr	L	17...19	10...	34	300... 600	0.5	10... 25	5... 10
		K			37	400... 800	0.5	25... 50	10... 20
		T	18...20	12	40	600...1200	0.5	50...	20...
Moreeni	Mr	HL	16...19	10...12	...34	300... 600	0.5	... 40	... 20
		L	17...20	10...12	...36	600...	0.5	40...100	20... 60
		K	18...21	11...13	...38	800...	0.5	100...	60...140
		T	19...23	11...14	...40	1200...	0.5	lyömällä	140...
2)Tiivistetty täyte perus- tusten alla	Louhe Murske Sora	Louhe	15...18	9...11	45	1200	0.5		
		Murske	19...22	11...13	42	1200	0.5		
		Sora	18...21	11...13	40	1200	0.5		

## 4.2 Jännityksen jakautuminen maaperässä

Painumalaskelmassa ovat merkittävässä osassa maan jännityslaskelmat. Jotta voidaan määrittää kokonaisjännitys, pitää laskea jännitys ennen rakentamista sekä rakentamisesta aiheutuva jännitys. Kokonaisjännitys voidaan laskea kaavalla 28, joka pitää sisällään ennen rakentamista aiheutuneet jännitykset sekä rakentamisesta syntyvät jännitykset. (8, s. 24 – 25.)

$$\delta_z = \delta_{vo} + \Delta\delta$$

KAAVA 28

$\delta_z$  = kokonaisjännitys syvyydellä  $z$  (kN/m<sup>2</sup>)

$\delta_{vo}$  = vallitseva jännitys ennen rakentamista (kN/m<sup>2</sup>)

$\Delta\delta$  = rakentamisesta aiheutuva lisäjännitys, syvyydellä  $z$  (kN/m<sup>2</sup>)

Vallitsevaa jännitystä laskettaessa otetaan huomioon kerroksen yläpuolisen maan painosta syvyydelle  $z$  asti muodostuva tehokas jännitys ennen rakentamisesta aiheutuvaa lisäjännitystä. Vallitsevaa jännitystä mitoitettaessa pitää ottaa huomioon myös pohjavedestä aiheutuva noste. (8, s. 24.)

Rakentamisesta aiheutuva lisäjännitys voidaan määrittää likimääräismenetelmällä (2:1-menetelmä). Likimääräismenetelmässä rasituksen oletetaan jakautuvan maahan tasaisesti rakenteen reunoilta kuvan 9 mukaisesti. Jännitys pitkänomaisella perusmuurianturalla saadaan laskettua kaavalla 29, kun taas pilarianturoilla se lasketaan kaavalla 30. (3, s. 148.)

$$\Delta\delta = p * b / (b + z) \quad \text{KAAVA 29}$$

$$\Delta\delta = p * a * b / ((a + z) * (b + z)) \quad \text{KAAVA 30}$$

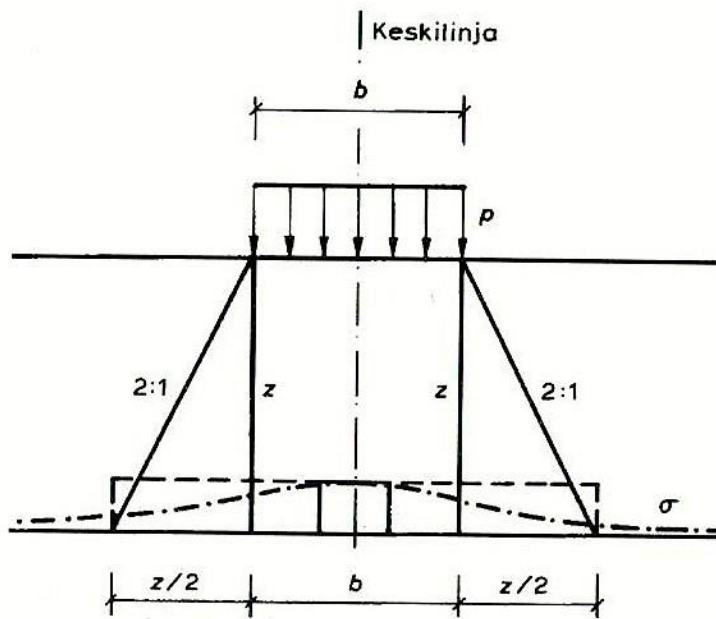
$\Delta\delta$  = rakentamisesta aiheutuva lisäjännitys, syvyydellä  $z$  (kN/m<sup>2</sup>)

$p$  = tasainen kuormitus anturan/ perustuksen alapinnassa, sisältäen anturan päällä olevan maanpainon sekä anturan oman painon (kN/m<sup>2</sup>)

$b$  = anturan/ perustuksen leveys (m)

$a$  = anturan/ perustuksen pituus (m)

$z$  = anturan/ perustuksen alapinnasta maa/ laskenta kerroksen keskelle (m)



KUVA 9. Anturaan kohdistuvat kuormitukset (3, s. 148)

#### 4.3 Maakerroksen suhteellinen kokoonpuristuvuus

Maakerroksen suhteellinen kokoonpuristuma voidaan laskea Ohde-Janbun kaavan avulla (kaava 31) hyödyntäen taulukkoa 6.

$$\varepsilon_z = \frac{1}{m_z} \left[ \left( \frac{\delta_z}{\delta_v} \right)^\beta - \left( \frac{\delta_{vo}}{\delta_v} \right)^\beta \right] \quad \text{KAAVA 31}$$

$\varepsilon_z$  = suhteellinen kokoonpuristuma, syvyydellä  $z$  (%)

$m_z$  =  $z$  syvyydellä oleva moduuliluku

$\delta_z$  = kokonaisjännitys syvyydellä  $z$  (kN/m<sup>2</sup>)

$\delta_v$  = vertailujännitys 100 (kN/m<sup>2</sup>)

$\beta$  = vallitseva jännityseksponentti, syvyydellä  $z$

$\delta_{vo}$  = vallitseva jännitys ennen rakentamista (kN/m<sup>2</sup>)

Jännityseksponentin  $\beta$  ollessa 0,5 voidaan kaava supistaa sievempään muotoon, jolloin voidaan käyttää kaavaa 32 kokoonpuristumaa määritettäessä. Jännity-

seksponenttia määritettäessä maakerrokset pitää jakaa geoteknisesti tasalaatui-  
siin maakerrokseen, joissa maalajin raekoko ja kairausvastus olisivat mahdollisim-  
man tasaisia. (8, s. 24.)

$$\varepsilon_z = \frac{0,2}{m_z} (\sqrt{\delta_z} - \sqrt{\delta_{v0}})$$

KAAVA 32

$\varepsilon_z$  = suhteellinen kokoonpuristuma, syvyydellä z (%)

$m_z$  = z syvyydellä oleva moduuliluku

$\delta_z$  = kokonaisjännitys syvyydellä z (kN/m<sup>2</sup>)

$\delta_{v0}$  = vallitseva jännitys ennen rakentamista (kN/m<sup>2</sup>)

**TAULUKKO 6. Maalajien mekaanisten ominaisuuksien arviointi kairausvastusten  
perusteella. (9, s. 64)**

Maalaji		Puristin- kairaus q <sub>c</sub> (MN/m <sup>2</sup> )	Paino- kairaus Pk/0,2 m	Heijari- kairaus L/0,2 m	Moduuli- luku m	Jännitys- eks- po- nenti β	Kitka- kulma
Karkea siltti	Löyhä	< 7	< 40	< 8	30...100	0,3	28
	Keski- tiivis	7...15	40...100	8...25	70...150	0,3	30
	Tiivis	> 15	> 100	> 25	100...300	0,3	36
Hieno hiekk d <sub>10</sub> <0,06	Löyhä	< 10	20...50	5...15	50...150	0,5	30
	Keski- tiivis	10...20	50...100	15...30	100...200	0,5	33
	Tiivis	> 20	> 100	> 30	150...300	0,5	36
Hiekka d <sub>10</sub> >0,06	Löyhä	< 6	10...30	5...12	150...300	0,5	32
	Keski- tiivis	6...14	30...60	12...25	200...400	0,5	35
	Tiivis	> 14	> 60	> 25	300...600	0,5	38
Sora	Löyhä	< 5,5	10...25	5...10	300...600	0,5	34
	Keski- tiivis	5,5...12	25...50	10...20	400...800	0,5	37
	Tiivis	> 12	> 50	> 20	600...1200	0,5	40
Moreeni	Hyvin löyhä	< 10	< 40	< 20	150...600	0,5	...34
	Löyhä	> 10	40...100	20...60	600...	0,5	...36
	Keski- tiivis		> 100	60...140	800...	0,5	...38
	Tiivis		Lyömällä	> 140	1200...	0,5	...40

## 5 LASEKENTAESIMERKKI EXCEL-OHJELMALLA

### 5.1 Kantavuuslaskelman lähtötiedot

Tässä esimerkissä lasketaan geotekninen kantavuus As. Oy Kempeleen Tammi-lehdon tontille perustettavalle rivitalolle. Perusmuurianturan perustamissyvyys on 0,5 m ja anturan leveys 0,3 m. Tarkemmat laskennan lähtötiedot on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Lähtötiedot

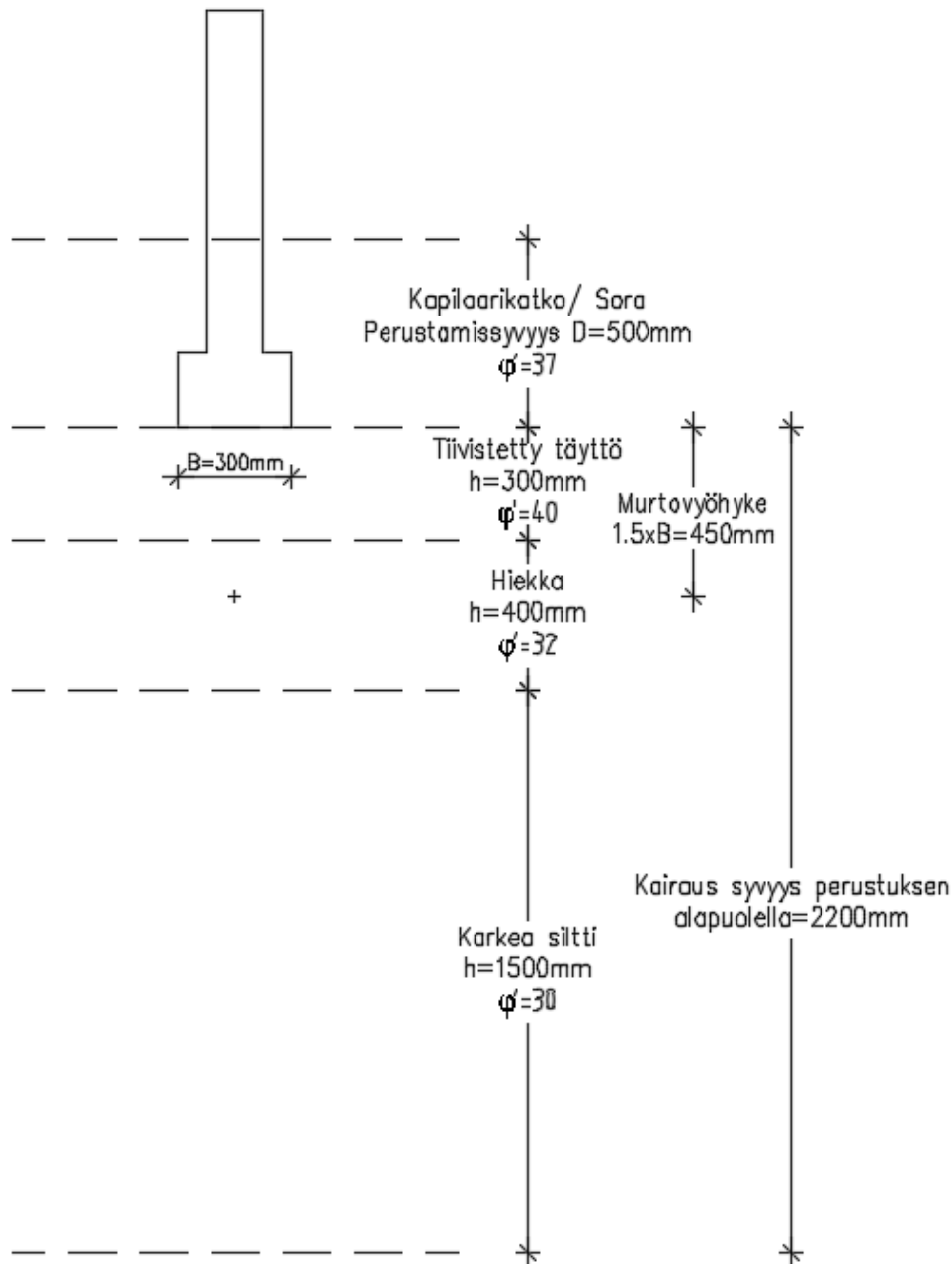
#### Lähtötiedot:

Rakennuksen materiaali:		Puurakenne
Perustus tyyli:		Perusmuuri
Perustuksen kaltevuus	$\alpha'$	0 °
Arvioitu perustuksen leveys B:		0,3 m
Arvioitu perustuksen pituus L:		50 m
Arvioitu perustuksen syvyys D:		0,5 m
Pohjaveden pinta anturan alapinnasta, $z_w$ :		2,2 m
Kairaus syvyys anturan alapinnasta:		2,2 m
Pystykuorman ominaisarvo $V_k$ :		30 kN/m
Pystykuorman mitoitusarvo $V_d$ :		38 kN/m
Pohjapaine p		42 kN/m <sup>2</sup>
Kohtisuoran vaakakuorman ominaisarvo $H_k$ :		0 kN/m
Kohtisuoran vaakakuorman vaikutus suunta:		B' suunnassa
Vaakakuorman korkeus perustuksen alap. :		0 m
Kantokestävyyden osavarmuus kerroin	$\gamma_{R,v}$	1,55

### 5.2 Pohjaolosuhteet

Geoteknisen kantavuuden määrittämisessä on tärkeä osata lukea kairausdiagrammeja. Maaperätutkimusraportista selviävät pohjaolosuhteet sekä kairauspisteet. Kairausdiagrammista näkee, että maaperäolosuhteet ovat rakentamiseksi hyvin suotuisat. Maaperätutkimusraportti on esitetty liitteessä 1. Maaperäraportin mukaan maanpinnassa on noin 0,4 m humusmaata ja sen jälkeen hiekkaa 0,7 m sekä siltistä hiekkaa 1,5 m. Koska ohjelmalla ei voitu mitoittaa siltistä

hiekkaa, se on mitoitettu karkeana silttinä, jolloin mitoitus on varmemmalla puolella. Pohjatöiden aikana humusmaa poistetaan ja pintaan laitetaan tiivistetty täyte perustuksien alle. Laskentakerroksiksi tulee 0,3 m:n tiivistetty täyte perustuksien alle, jonka alla on hiekkaa 0,4 m sekä karkeaa silttiä 1,5 m. Laskentakerrokset on esitetty kuvassa 10.



KUVA 10. Kantavuuslaskelman laskentakerrokset

### 5.3 Murtovyöhyke sekä painotetun kitkakulman määrittäminen

Murtovyöhyke määritetään kaavalla 12 (sivulla 20), joka on suoraan verrannollinen perustuksen leveyteen. Murtovyöhykkeen ulottuessa useampaan maalajiin lasketaan painotettu kitkakulma, joka voidaan määrittää kaavalla 11 (sivulla 20 - 21). Murtovyöhykkeen sekä kitkakulman määrittäminen on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Murtovyöhykkeen sekä kitkakulman määrittäminen

Murtovyöhyke:	1,5 * B=	0,45m							
Onko pohjaveden pinta murtovyöhykkeellä?				EI!	1,5 * B > h <sub>pvv</sub> =>	0,45	<	2,2	
Pohjaveden pinta ei vaikuta kantokestävyyden laskentaan!									
Sokkelin alapinnasta 3. maalajin yläpintaan?					0,3 m				
Murtovyöhyke sokkelin/anturan alapinnasta?					0,45 m				
Onko kolmas maalaji murtovyöhykkeellä?				KYLLÄ!	Vaikuttaa kantokestävyyden laskentaan!				
			0,3m-0,45m=	-0,15m	Maalaji jää 0,15m murtovyöhykkeelle				
Sokkelin alapinnasta 4. maalajin yläpintaan?					0,7 m				
Onko neljäs maalaji murtovyöhykkeellä?				EI!	Ei vaikuta kantokestävyyden laskentaan!				
			0,7m-0,45m=	0,25m	Murtovyöhyke jää 0,25m maalajin yläpuolelle!				
Painotetun kitkakulman määrittäminen:									
Murtovyöhyke:		1,5 * B=	0,45m						
		Murtovyöhyke 3. maalajissa, kitkakulma =		(0,3*40+0,15*32)/0,45=		37,3	°	Kitkakulma	

### 5.4 Kuormituksen epäkeskisyys sekä anturan määräävät mitat

Määritettäessä perustuksen mittoja tulee tarkistaa kuormituksesta syntyvä epäkeskisyys. Vaakakuormien ollessa suuria ne pienentävät anturan tehollista leveyttä, mikä vaikuttaa suuresti anturan kantavuuteen. Taulukossa 9 on esitetty esimerkkilaskelman epäkeskisyyden ja pinta-alojen tarkistaminen.



TAULUKKO 9. Esimerkkilaskelman epäkeskeisyyden ja pinta-alojen tarkistaminen

Kuormituksen epäkeskisyys ja pinta-ala:			
$B' = B - 2 * e_L$		$L' = L - 2 * e_L$	
$B' = 0,3 \text{ m}$		$L' = 50,00 \text{ m}$	
$B' = 0,30 \text{ m}$			
$L' = 50,00 \text{ m}$			
$A' = 0,30 \text{ m}^2$			
$e_L = (H_k * h_{Hk}) / V_k$			
$e_L = 0,00 \text{ m}$			
$e_L < B/3$	$0 < 0,3 / 3$		
	$0 < 0,1$	OK	
		Epäkeskeisyys ei tule mitoittavaksi!	

## 5.5 Kantokestävyyden määrittäminen

Kantokestävyys voidaan määritellä kaavan 6 (sivulla 18) avulla. Maalajien ollessa kitkamaalajeja ja koheesion ollessa 0 on suositeltavaa kuitenkin käyttää kaavaa 7 (sivulla 18). Taulukossa 10 on esitetty kaavan 7 ensimmäisen lausekkeen laskeminen, jossa käytetään perustamistason yläpuolisen maan parametreja.

TAULUKKO 10. Perustamistason yläpuolisenmaan kestävyys

<b>Kantokestävyys:</b>									
<b>Kantokestävyuden ominaisarvo:</b>									
$R_k/A' = q' * N_q * b_q * S_q * i_q + 0,5 * \gamma' * B' * N_{\gamma} * b_{\gamma} * S_{\gamma} * i_{\gamma}$									
$q' = \gamma' * D$									
$q' = 9,25 \text{ kN/m}^3$									
$N_q = e^{\pi * \tan \phi'} * (\tan * (45 + \frac{\phi'}{2}))^2$									
$N_q = 44,82$									
$b_q = (1 - \alpha * \tan(\phi'))^2$									
$b_q = b_{\gamma} = 1,0$									
$S_q = 1 + (B'/L') * \sin \phi'$									
$S_q = 1,004$									
$i_q = [1 - H/(V + A' * c' * \cot(\gamma'))]^m$									
$i_q = 1,000$									
$q' * N_q * b_q * S_q * i_q =$									
						416,1	kN/m <sup>2</sup>		
$\gamma_2' =$		Koska pohjaveden pinta sijaitsee murtovyöhykkeellä, lasketaan painotettu tehokas tilavuuspaino!							
$\gamma_2' = 18,67 \text{ kN/m}^3$									
$B' = 0,300 \text{ m}$									

Kaavan 7 jälkimmäisessä osassa käytetään perustamistason alapuolisen maan parametreja. Taulukossa 11 on esitetty perustamistason alapuolisen maan parametrien laskeminen sekä lopullinen kantokestävyuden mitoitusarvo.

TAULUKKO 11. Perustamistason alapuolisenmaan parametrien laskeminen

$N_Y = 2(N_q - 1) * \tan\Phi'$									
$N_Y = 66,85$									
$b_Y = 1,0$									
$S_Y = 1 - 0,3 * (B'/L')$									
$S_Y = 0,998$									
$m = m_B = \frac{2 + \left(\frac{B'}{L'}\right)}{1 + \left(\frac{B'}{L'}\right)}$						$m = m_L = \frac{2 + \left(\frac{L'}{B'}\right)}{1 + \left(\frac{L'}{B'}\right)}$			
$m = 1,994$						$m = 1,006$		$m = 1,994$	
$i_Y = [1 - H/(V + A' * c' * \cot(\gamma'))]^{m+1}$									
$i_Y = 1,000$									
$0,5 * \gamma_2' * B' * N_Y * b_Y * S_Y * i_Y =$						$186,84 \text{ kN/m}^2$			
$R_k/A' = q' * N_q * b_q * S_q * i_q + 0,5 * \gamma_2' * B' * N_Y * b_Y * S_Y * i_Y$									
$R_k/A' = 603,0 \text{ kN/m}^2$									
$R_d/A' = \frac{R_k/A'}{\gamma_{R,v}}$									
$R_d/A' = 389,0 \text{ kN/m}^2$									
$R_d = (R_d/A') * A'$									
$R_d = 116,7 \text{ kN/an.metri}$									

Ohjelmasta saadaan selville kantokestävyyden ominaisarvon lisäksi myös kantokestävyyden mitoitusarvo. Esimerkkilaskelmassa kantokestävyyden mitoitusarvoksi saatiin 116,7 kN anturametriä kohden.

## 5.6 Painumataulukko

Geoteknisen kantavuuden määrittämiseen kuuluu kantokestävyyden määrittämisen lisäksi myös painumamitoitus. Painumamitoitus on kuitenkin hankala tehdä käsin laskettuna, koska maakerrokset pitää tutkia 1/3 perustuksen leveyden paksuisissa kerroksissa. Pientalokohteissa perustuksen leveys on usein 0,3 metriä, jolloin tutkittava maakerros on vain 10 senttimetriä. Maakerrosten ollessa ohuita

tulee mitoituskerroksia paljon, jolloin taulukkolaskenta nopeuttaa työtä. Taulukossa 12 on esitetty esimerkkikohteen painumalaskelma.

### TAULUKKO 12. Painumalaskelma kerroksittain

										Merkkien selitykset!					
Kosolidaatiopainuma laskelma tangenttimoduulimenetelmällä:															
Nro.	h(m)	z(m)	m <sub>z</sub>	0,2/m <sub>z</sub>		z/B	δ <sub>vo</sub>	Δδ	δ <sub>z</sub>	$\frac{1}{m\beta}$	$\left(\frac{\delta z}{\delta v}\right)^\beta$	$\left(\frac{\delta v_o}{\delta v}\right)^\beta$	ε <sub>z</sub>	Δh(mm)	
1	0,10	0,05	1700	0,0001176	0,5	0,17	10,23	36,00	46,23	0,001176470588	0,6798897	0,31976554	0,000423675	0,04236755	
2	0,10	0,15	1700	0,0001176	0,5	0,50	12,18	28,00	40,18	0,001176470588	0,63383752	0,34892693	0,000335189	0,03351889	
3	0,10	0,25	1700	0,0001176	0,5	0,83	14,13	22,91	37,03	0,001176470588	0,60855641	0,37583241	0,000273793	0,02737929	
4	0,10	0,35	210	0,0009524	0,5	1,17	15,95	19,38	35,33	0,009523809524	0,59442927	0,39937451	0,001857664	0,18576643	
5	0,10	0,45	210	0,0009524	0,5	1,50	17,65	16,80	34,45	0,009523809524	0,58694122	0,42011903	0,001588783	0,15887828	
6	0,10	0,55	210	0,0009524	0,5	1,83	19,35	14,82	34,17	0,009523809524	0,5845813	0,43988635	0,001378047	0,13780471	
7	0,10	0,65	210	0,0009524	0,5	2,17	21,05	13,26	34,31	0,009523809524	0,58577434	0,45880279	0,001209253	0,12092529	
8	0,10	0,75	150	0,0013333	0,3	2,50	22,70	12,00	34,70	0,022222222222	0,72794546	0,64092580	0,001933770	0,19337701	
9	0,10	0,85	150	0,0013333	0,3	2,83	24,30	10,96	35,26	0,022222222222	0,73142843	0,65415683	0,001717147	0,17171467	
10	0,10	0,95	150	0,0013333	0,3	3,17	25,90	10,08	35,98	0,022222222222	0,73589923	0,66679131	0,001535732	0,15357316	
11	0,10	1,05	150	0,0013333	0,3	3,50	27,50	9,33	36,83	0,022222222222	0,74109231	0,67889062	0,001382260	0,13822598	
12	0,10	1,15	150	0,0013333	0,3	3,83	29,10	8,69	37,79	0,022222222222	0,74681302	0,69050670	0,001251251	0,12512515	
13	0,10	1,25	150	0,0013333	0,3	4,17	30,70	8,13	38,83	0,022222222222	0,75291677	0,70168390	0,001138508	0,11385082	
14	0,10	1,35	150	0,0013333	0,3	4,50	32,30	7,64	39,94	0,022222222222	0,75929503	0,71246044	0,001040769	0,10407685	
15	0,10	1,45	150	0,0013333	0,3	4,83	33,90	7,20	41,10	0,022222222222	0,76586557	0,72286951	0,000955468	0,09554679	
16	0,10	1,55	150	0,0013333	0,3	5,17	35,50	6,81	42,31	0,022222222222	0,77256567	0,73294014	0,000880567	0,08805673	
17	0,10	1,65	150	0,0013333	0,3	5,50	37,10	6,46	43,56	0,022222222222	0,77934717	0,74269786	0,000814429	0,08144291	
18	0,10	1,75	150	0,0013333	0,3	5,83	38,70	6,15	44,85	0,022222222222	0,78617297	0,75216529	0,000755726	0,07557261	
19	0,10	1,85	150	0,0013333	0,3	6,17	40,30	5,86	46,16	0,022222222222	0,79301436	0,76136256	0,000703373	0,07033735	
20	0,10	1,95	150	0,0013333	0,3	6,50	41,90	5,60	47,50	0,022222222222	0,79984914	0,77030764	0,000656478	0,06564777	
21	0,10	2,05	150	0,0013333	0,3	6,83	43,50	5,36	48,86	0,022222222222	0,8066601	0,77901672	0,000614297	0,06142975	
22	0,10	2,15	150	0,0013333	0,3	7,17	45,10	5,14	50,24	0,022222222222	0,81343396	0,78750435	0,000576213	0,05762135	

**Painuma:**

**Kokonais painuma:**

**2,30 mm**

**Rakenteen sallittu painuma:**

**100 mm Painuma on sallituissa rajoissa!**

Ohjelma vertaa rakenteen sallittua painumaa annetun rakenteen painumaan. Mikäli painuma ylittää sallitun raja-arvon, kertoo ohjelma siitä punaisella tekstillä.

## 6 YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli tutustua tarkemmin perusmuurin sekä anturan geoteknisen kantavuuden mitoitukseen ja laatia toimiva Excel-pohjainen laskentaohjelma riittävän anturan leveyden määrittämiseksi. Excel-pohjaista laskentaohjelmaa voidaan käyttää rakennesuunnittelun tukena perustuksia suunnitellaessa.

Työn tuloksena saatiin yksityiskohtainen selvitys perustuksen kantavuuden mitoituksesta. Työn edetessä huomattiin, että työ kannattaa rajata koskemaan ainoastaan kitkamaalajeja, sillä koheesiomaalajeille on erilaiset kaavat.

Työ osoittautui tarpeelliseksi ja ajankohtaiseksi, sillä usein anturan geoteknistä kantavuutta määritettäessä kantavuuden mitoitukseen otetaan huomioon koko anturanleveys. Tämä kuitenkin vaatii vaakakuormien tapauskohtaista tarkistamista, sillä vaakakuormitus pienentää anturan tehollista leveyttä.

Työtä tehdessä huomattiin, että painumien esimerkkilaskelmia on saatavissa todella vähän ja pientalojen kantavuuksia ei yleensä mitoiteta vaan se perustuu arvioihin. Painumamitoituksesta ei ole tehty päivitettyjä ohjeita vaan niissä yleensä viitataan RIL 157-1 -julkaisuun. Julkaisu on kuitenkin todella vanha eikä kirjaa enää saatavilla. Työtä tehtäessä otettiin yhteyttä RIL:oon, joka aikoi päivittää painumamateriaalit ajan tasalle.

Opinnäytetyössä tehty Excel-pohjainen laskentaohjelma laskee maan kantoketävyuden sekä painuman annetuilla kuormituksilla sekä perustuksen mitoilla. Laskentaohjelmaa voidaan käyttää ainoastaan kitkamaalajeille, mikä rajoittaa sen käytettävyyttä. Tulevaisuudessa ohjelmaa on tarkoitus kehittää koskemaan myös koheesiomaalajeille sekä laskemaan myös kuormitusyhdistelmät annetuille kuormille.

## LÄHTEET

1. SFS-EN 1997-1. 2017. Geotekninen suunnittelu. Osa 1. Yleiset säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
2. RIL 207-2017. 2017. Geotekninen suunnittelu. Eurokoodin EN 1997-1 suunnitteluohje. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
3. Jääskeläinen, Raimo 2011. Geotekniikan perusteet. Jyväskylä: Tammertekniikka.
4. SGY 201. 2007. Pohjatutkimusmerkinnät. Helsinki: Suomen geotekninen yhdistys ry.
5. SFS-EN 1997-1. 2015. Geotekninen suunnittelu. Osa 1. Yleiset säännöt. Kansallinen liite. Helsinki: Ympäristöministeriö
6. SFS-EN 1990-1. 2009. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
7. Jääskeläinen, Raimo - Rantamäki, Martti – Tamminrinne, Markku 2009. Geotekniikka. Helsinki: Otatieto Oy.
8. Pohjanrakennusohjeet sillansuunnittelussa. 1999. Tielaitos. Helsinki: Tiehallinto.
9. RIL 223-2005. 2005. Lyöntipaalutusohje. Teräsbetoni- ja puupaalut. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.

## PERUSTAMISTAPALAUSSUNTO / MAAPERÄTUTKIMUSRAPORTTI

As Oy Kempeleen Tammilehto  
Kempele, Linnakangas, kortteli 26106

RMP-Service Oy  
Voikukkatie 14 C  
90580 Oulu  
p. 050 - 4699640  
e-mail: ismo.immonen@rmp-service.fi  
www.rmp-service.fi

## 1. TOIMEKSIANTO

Pasi Alangon toimeksiannosta olen tehnyt maaperätutkimuksen ja siihen liittyvät selvitykset Kempeleen Linnakankaalla sijaitsevalle rakennuspaikalle.

Toimeksiantoon sisältyy tutkimustulosten analysointi ja sen perusteella laadittava perustamistapalausunto.

## 2. TEHDYT TUTKIMUKSET

### 2.1. Maastotutkimukset

Pohjatutkimuksia tutkimuskohteessa on tehty kaikkiaan 2/2018):

- painokairauksia yhteensä 8 pisteessä
- pohjaveden havainnointi 1 tutkimuspisteessä
- kairauspisteiden vaaitus
- pintavaaitus
- näytteenotto yhdestä pisteestä

Tutkimuspisteiden sijainti on esitetty pohjatutkimuskartassa.

Korkeudet on sidottu korkeusjärjestelmään N2000.

Pohjatutkimustulokset on esitetty liitteenä olevissa diagrammeissa.

## 3. POHJASUHTEET TUTKIMUSALUEELLA

Maakerrosjako on tutkimusalueella yleispiirteissään seuraava:

- pintamaakerrokset; humusmaa ~0,2... 0,4m paksuna kerroksena,
- löyhä / keskitiivis hiekka ~0,8... 1,2m syvyyteen saakka, paikoin kivistä.
- tiivis routiva silttinen hiekka / silttimoreeni kairattuun syvyyteen asti.

Alueen maaperä on routivaa.

Painokairaukset ovat päättyneet tiiviiseen maahan ~2,0... 2,3m syvyydessä.

Tutkimusalueella ei tutkimushetkellä tavoitettu pohjavettä.

## 4. POHJARAKENNUSTAPA

### 4.1. Rakennusten ja rakenteiden perustaminen

Rakennukset voidaan perustaa perusmaan varaan normaalilla matalaperustuksella.

Tutkimusalueella perustukset voidaan suunnitella  $p_{sall}=150\text{kPa}$  sallitulle pohjapaineelle täyttökerrosten päältä. Perustussyvyys tulee olla vähintään 0,5m. Lattiatason tulee sijaita vähintään 0,4m lopullisen maanpinnan yläpuolella. Anturaleveys min. 300mm.



Alapohja tehdään maanvaraisena rakenteena. Perustusten alle tehdään pohjaveden kapillaarisen nousun katkaiseva salaojituserkerros hiekasta tai sepelistä. Salaojituserroksen paksuus oltava kaksi kertaa niin paksu kuin käytettävän maa-aineksen kapillaarinen nousukorkeus. Muut alustäytöt tehdään hiekasta, jonka kapillaarinen nousukorkeus on pienempi kuin 0,3m.

Rakennusalueella täytöt ja massanvaihto tiivistetään tiiveyteen  $D > 92\%$ , perustusten kohdalla tiiveyteen  $D > 95\%$  ja rakennuksen vierellä tiiveyteen  $D > 90\%$ .

#### 4.2. Routasuojaus ja salaojitus

##### Routasuojaus

Luonnonmaakerrokset tutkimusalueella ovat routivia.

Rakennukset ja rakenteet on routaeristettävä. Perustusten alapuoliset routimattomat täytöt voidaan ottaa huomioon routaeristyspaksuutta vähentävänä tekijänä.

VTT:n yhdyskuntatekniikan julkaisun "Talonrakennuksen routasuojausohjeet" mukaan kerran 50 vuodessa esiintyvää mitoituspakkasmäärää  $F_{50} = 54\,000\text{ Kh}$ , vastaava roudaton perussyvyys mitattuna maanpinnasta anturan alapintaan tai anturan alapuolisen routimattoman alustäytön alapintaan on seinälinjalla 1,6m ja nurkissa 2,1m. Kylmien rakenteiden osalla roudaton perustussyvyys on 2,3m.

Routaeristeenä käytetään eristettä, jonka puristuslujuus on vähintään  $100\text{ kN/m}^2$ , ja jonka vedenimeytyminen on  $\leq 2\%$ . Routaeristys mitoitetaan VTT:n julkaisun "Talonrakennuksen routaeristysohjeet" mukaisesti.

Eristeiden alle tehdään vähintään 0,3m paksu pohjaveden kapillaarisen nousun katkaiseva täyttö hiekasta tms., jonka kapillaarinen nousukorkeus on  $< 0,3\text{m}$ .

##### Salaojitus

Salaojitus, kts. Rakennusten ja tonttialueiden kuivatus RIL 126-1987, kohta 3.4 Rakennuspohjan salaojitus.

Rakennuksia ei tarvitse salaojittaa pohjaveden vuoksi. Rakennus kuitenkin suositetaan salaojitettavaksi, koska tällöin perustukset ja perusmuuri pysyvät kuivempina kuin ilman salaojia. Salaojat sijoitetaan vähintään 0,1m perustustason alapuolelle.

#### 4.3. Kuivatus

Lämpimien rakennusten lattiataso pitää sijaita 0,4m ympäröivän maanpinnan yläpuolella. Kattovedet ohjataan kattovesijärjestelmällä pintavesiviemäriin.

Valumavesien poisjohtamiseksi piha-alueella maanpinta kallistetaan rakennuksista pois päin viettäväksi rakennuksen vieressä vähintään 3m matkalla kaltevuudella 1:20 ja kauempana kaltevuudella 1:50...1:100.

Liikenne- ja piha-alueiden osalta pintavesikuivatus järjestetään kallistuksin pintavesiviemäriin ja tontin reunoille.

#### 5. POHJARAKENNUSTYÖN SUORITUSOHJEET

##### 5.1. Maanrakennustyöt, yleistä

Humusmaat, humuksiset pintamaat yms. poistetaan rakennus- ja täyttöalueilta. Lopullinen kaivutaso määritetään työn aikana tukeutuen suunnitelmiin. Kaivutöiden yhteydessä on varmistettava, ettei perustuslinjojen alle jää isoja kiviä. Kapillaarikatkon ja ylempien täyttöjen väliin asennetaan suodatinkangas estämään hienoaineen valuminen soran tyhjätilaan.

Rakentamiseen liittyvät kaivut tehdään pohjavesipinnan yläpuolella kaltevuudella 2:1.

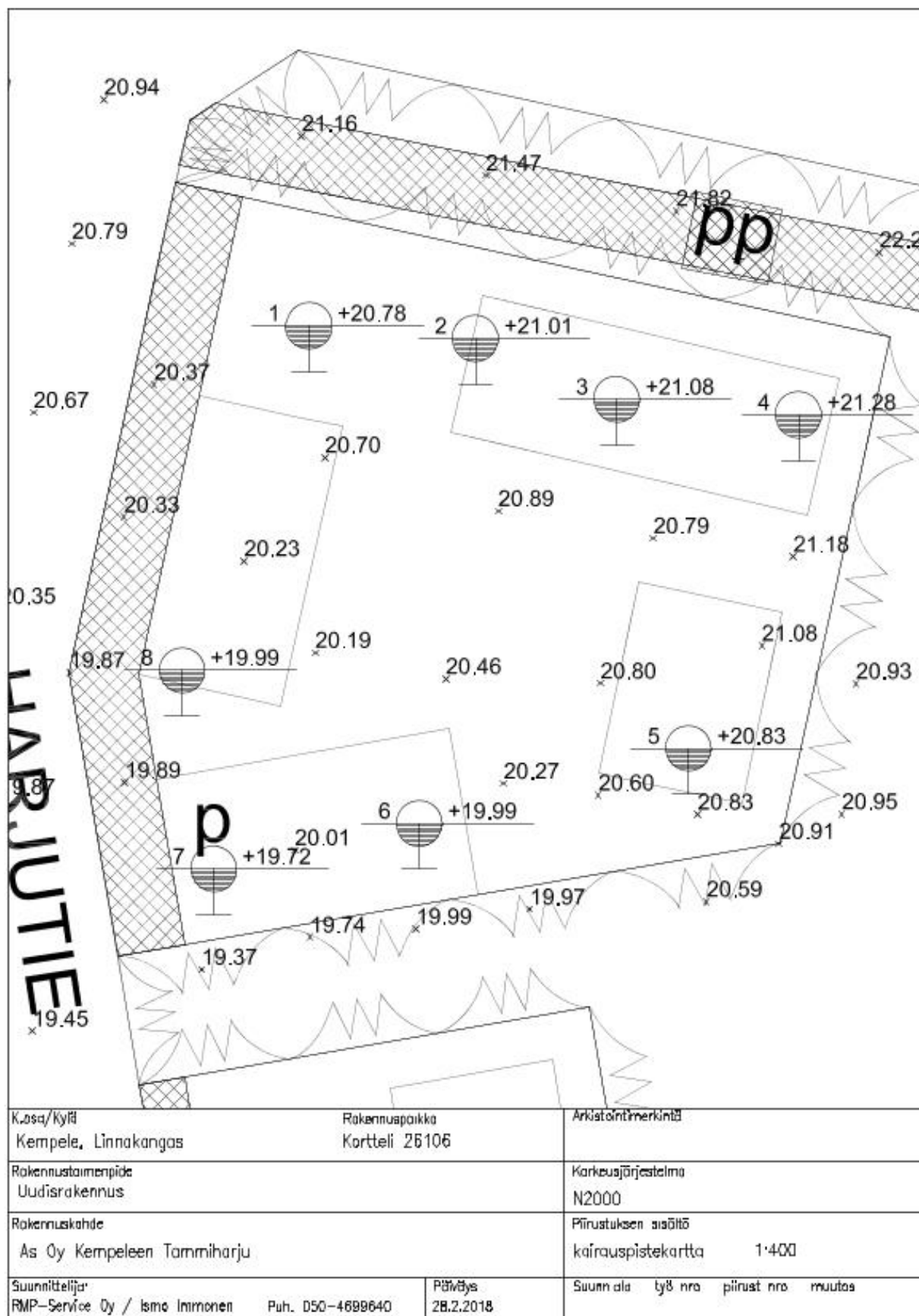
Massanvaihtotäytöt ja rakenteiden alustäytöt tehdään suunnitelmissa esitetyistä materiaaleista. Muut erittelemättömät täytöt ja rakennekerrokset tehdään julkaisussa RIL 132-2000 "Talonrakennuksen maarakenteet" esitetyt laatuvaatimukset täyttävistä materiaaleista. Liikennealueiden osalta noudatetaan lisäksi Kunnallisteknisten töiden yleisessä työselityksessä KT 02 annettuja ohjeita.

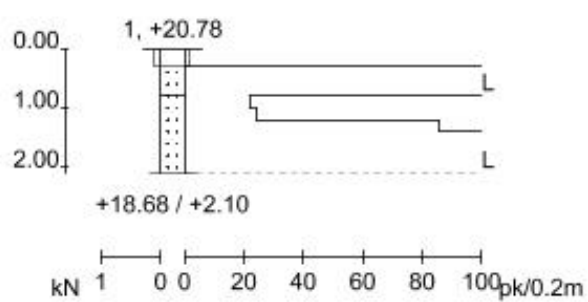
Täytöt tiivistetään kerroksittain tärylevyllä kohdan 4.1 mukaisesti tiiviysasteisiin, ellei suunnitelmissa ole muuta esitetty. Liikennealueella rakennekerrokset tiivistetään Kunnallisteknisten töiden yleisessä työselityksessä KT 02 annettuihin, katuluokan 5 kantavuusarvoihin.

Oulussa 28.2.2018

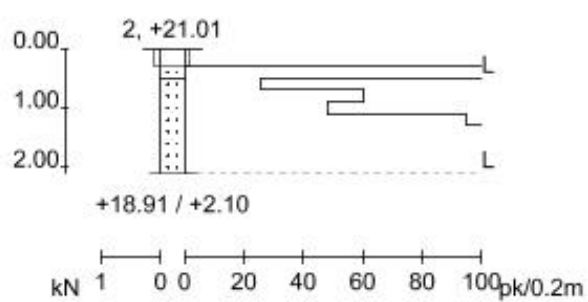


Ismo Immonen, RI, RMP-Service Oy

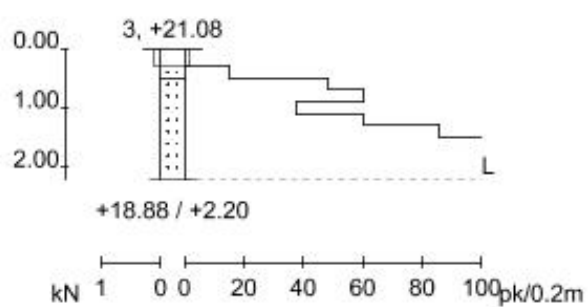




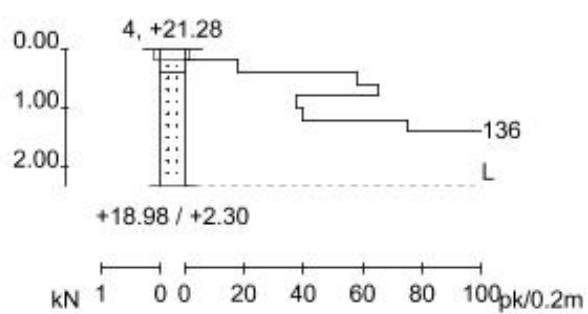
Numero	1	Kairaustapa	PATM
X	-	Mittakaava	1:100
Y	-	Päivä	27.2.2018



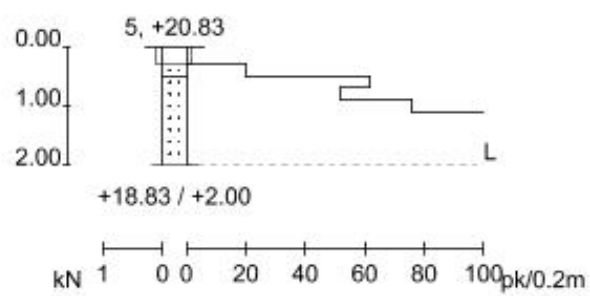
Numero	2	Kairaustapa	PATM
X	-	Mittakaava	1:100
Y	-	Päivä	27.2.2018



Numero	3	Kairaustapa	PATM
X	-	Mittakaava	1:100
Y	-	Päivä	27.2.2018

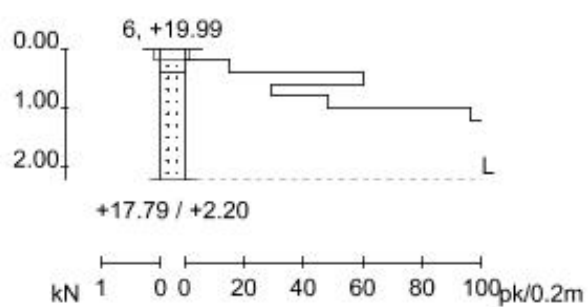


Numero	4	Kairaustapa	PATM
X	-	Mittakaava	1:100
Y	-	Päivä	27.2.2018

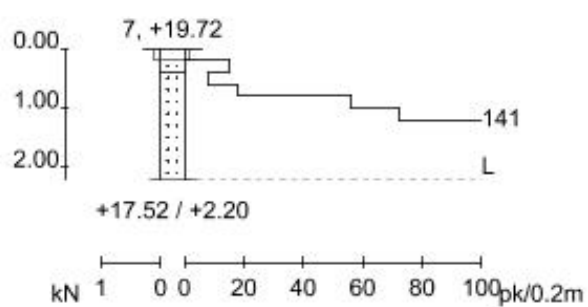


Numero	5	Kairaustapa	PATM
X	-	Mittakaava	1:100
Y	-	Päivä	27.2.2018

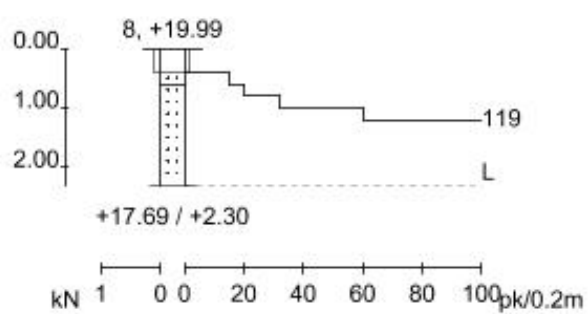




Numero	6	Kairaustapa	PATM
X	-	Mittakaava	1:100
Y	-	Päivä	27.2.2018



Numero	7	Kairaustapa	PATM
X	-	Mittakaava	1:100
Y	-	Päivä	27.2.2018



Numero	8	Kairaustapa	PATM
X	-	Mittakaava	1:100
Y	-	Päivä	27.2.2018



28.2.2018

## Yksittäisen näytteen tiedot

Näyttenumero : 1 / 1

Tutkim.pvm: 28.02.2018

Työnum:

Työnimi:

Kello

Ark.numero

Tilaaaja: As Oy Kempeleen Tammilehto

Murskausurakka:

Urakoitsija:

Murskauspaikka:

Murskeen nimi:

## Rakeisuus (SFS-EN 933-1)

## Seulontatapa: Pesuseulonta

Seula [mm]	Rajakäyrä: Sisä		
25	100	100	100
20	100	100	100
16	100	100	100
11.2	100	100	100
8	89	99	100
5.6	71	84	97
4	58	72	95
2	37	51	93
1	24	37	91
0.5	15	26	83
0.25	8	15	64
0.125	5	12	45
0.063	4.0	10.0	32.0

Vesipitoisuus(SFS-EN 1097-5): 11.80

Litteysluku(SFS-EN 933-3): -

Kiintotiheys(SFS-EN 1097-6): -

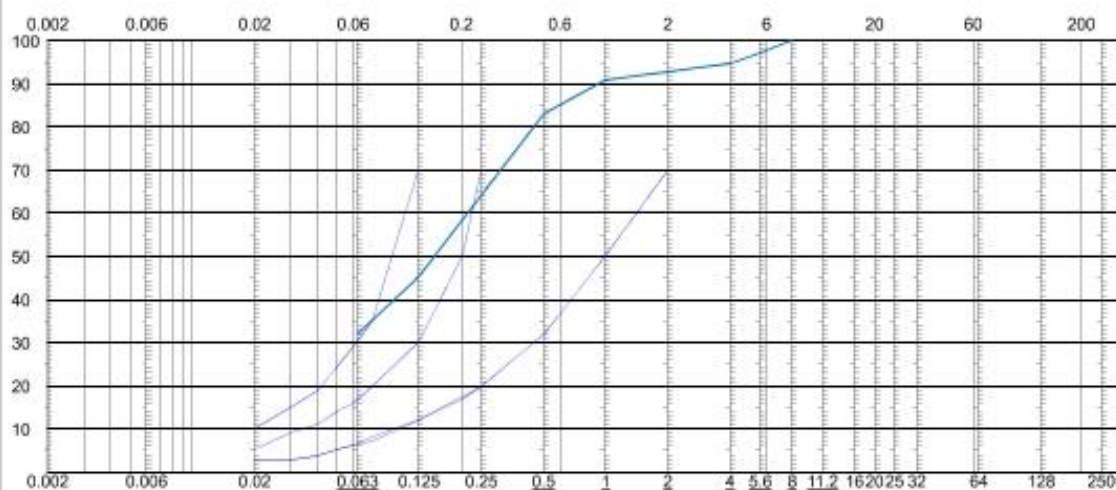
Murtopintaisuus(SFS-EN 933-5): -

Humuspitoisuus(PANK 2106): -

Kuulamyly(SFS-EN 1097-9): -

Los Angeles(SFS-EN 1097-2): -

Sideainepit: -



Licence:RMP-Service Oy

RMP-Service Oy

OULU

Murux, © Cuzze Oy

Tulokset koskevat vain testatus näytettä

Allekirjoitus

050-4699640

Fax: 00 - 123 567

Ismo Immonen